LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI AGRIGENTO

(L.R.15/2015) ex Provincia Regionale di Agrigento

SETTORE INFRASRUTTURE STRADALI, EDILIZIA SCOLASTICA, PATRIMONIO E MANUTENZIONE

"Servizio Edilizia Scolastica"



PROGETTO ESECUTIVO

INTERVENTI DI ADEGUAMENTO ANTISISMICO, IMPIANTISTICO E FUNZIONALE
ISTITUTO D'ARTE "G. BONACHIA" DI SCIACCA
CODICE EDIFICIO ARES 0840411628 - 084041629. CUI L80002590844202200008 -
CUP: B81B22001100001

Allegati: D_12

Relazione Geologica

IL PROGETTISTA

Ing. Michelangelo Di Carlo

Agrigento, li 02 LUG. 2026

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

- **PROGETTISTA:**

Ing. Michelangeo Di Carlo

- **GEOMETRI PROGETTISTI:**

Geom Carmelo Filorizzo
Geom. Calogero Gioacchino Meli

- **COORD. SICUREZZA:**

Geom Carmelo Filorizzo

- **GEOLOGO**:

Dott. Geol. Marzio Tuttolomondo

- **VERIFICATORE**:

Ing. Filippo Napoli

- **RUP**:

Arch. Alfonso Giulio

Verificato ai sensi dell'art. 42 c.3 D.Lgs 36/2023

IL VERIFICATORE

Ing. Filippo Napoli

Agrigento, li 03 LUG. 2026

Validazione ai sensi dell'art. 42 c.4 del D.Lgs 36/2023 e ss.mm.ii.

IL R.U.P.

Arch. Alfonso Giulio

Agrigento, li 03 LUG. 2026

LIBERO CONSORZIO COMUNALE

Ai sensi della L.R. n.8/2014

Ex Provincia Regionale di Agrigento

SETTORE :

Infrastrutture Stradali, Edilizia Scolastica,Patrimonio e Manutenzione

OGGETTO: Intervento per la realizzazione dei lavori riguardanti gli interventi di adeguamento antisismico, impiantistico e funzionale - Istituto d'Arte "G.Bonachia" di Sciacca, codice ARES edificio scolastico 0840411628 - 0840411629 - CUP: B81B22001100001

RELAZIONE GEOLOGICA

Agrigento li 18 NOV. 2024

Il Geologo
Dott. Marzio Puttaiomondo

IL Direttore
SETTORE
Ing.Michelangelo Di Carlo

Premesse.

Il presente studio è finalizzato all'intervento di adeguamento antisismico impiantistico e funzionale dell'istituto scolastico d'Arte "G. Bonachia" di Sciacca, nell'ambito delle verifiche di valutazione del rischio sismico degli Edifici Scolastici di proprietà della provincia Regionale di Agrigento, secondo il D.M. 17 gennaio 2018, nonché secondo quanto dettato dal D.A. n. 298/41 del 21/07/2000 e suc. mod. ed integrazioni.

Per la caratterizzazione lito-stratigrafica e geomeccanica dei terreni di sedime, ci si è avvalsi dei risultati di indagini meccaniche effettuate in precedenza su l'Istituto adiacente.

La caratterizzazione sismica è stata determinata dai risultati indagine sismica in foro effettuata in precedenza, nell'ambito delle indagini effettuate.

Dai dati acquisiti, prende spunto il presente studio, in prima fase, si è determinata la caratterizzazione della modellazione geologica e sismica del sito, tramite la ricostruzione delle caratteristiche litologiche, stratigrafico-strutturali, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche, ricavate sia dalle indagini effettuate che dal rilevamento geostrutturale dell'area indagata; in seconda fase si è effettuata l'elaborazione numerica dei risultati ottenuti dalle indagini.

Nelle finalità di progetto, è stata effettuata anche la verifica del potenziale di liquefazione dei terreni di sedime, in concomitanza di eventi sismici,

effettuata tramite modelli matematici secondo i metodi semplificati di calcolo elaborati dagli autori in materia.

Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area di indagine.

L'area in studio, topograficamente fa parte, della tavoletta I.G.M. IV SE "Sciacca", in scala 1/25.000.

In generale il territorio, di forma irregolare è compreso tra il Mare Mediterraneo, i Monti Sicani e i Fiumi Verdura e Carboy, con morfologia complessa, caratterizzata da terrazzi, valli, monti e colline.

L'assetto geomorfologico dell'area in esame, dipende dalla natura delle unità geolitologiche affioranti, dagli agenti esogeni di modellamento e dalle condizioni climatiche, pertanto essa in generale risulta piuttosto varia, essendo rappresenta da aree caratterizzate da litologie eterogenee con andamento orografico da acclive a mediamente acclive o pianeggiante e soggetti, secondo la loro costituzione, a processi morfodinamici diversi.

Le forme ed i processi geomorfogenetici, in questa parte di territorio, risentono sia del fenomeno antropico dell'area che dal differente assetto dovuto ai vari processi morfodinamici e alle forme antropiche che li hanno generati.

Nelle aree piatte, sono presenti deposizioni terrazzate di origine marina, di

spessori considerevoli, costituiti da termini sabbioso calcarenitici, risultanti in leggera pendenza in direzione sud.

Nelle aree mediamente acclivi, si riscontrano due diversi aspetti geomorfologici, caratterizzati da processi sedimentari e forme diverse, il primo processo sedimentario da vita alla deposizione argillosa di medio bassa acclività e talora sub-pianeggiante, il secondo processo sedimentario da vita alle deposizioni rigide che costituiscono l'ossatura del territorio indagato, ne scaturiscono quindi pendini molto più acclivi con leggera pendenza verso sud.

Nelle aree, caratterizzate sia dalle litologie plastiche che rigide, le azioni climatiche e gli agenti di modellamento risultano ininfluenti, essendo le aree occultate dalla fitta urbanizzazione che impedisce agli agenti morfodinamici di alterare le litologie affioranti.

In esse, l'idrologia superficiale, risente dall'urbanizzazione prodotta, non producendo alcun effetto, ne risulta pertanto che le acque vengano incanalate nella reti fognarie o reggimentate durante intensi acquazzoni dalle reti viarie.

Dal punto di vista idrogeologico, per l'area indagata, si desume l'assenza di pericolosità idrologiche, come rilevate nell'ambito dello studio del P.A.I. dall'Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente, in esso, per l'area indagata, si rileva l'assenza di forme erosive, assenza di fenomeni franosi attivi o potenziali, assenza di rischi di esondazione;

Pertanto è possibile definire nulla la pericolosità geomorfologica dell'area.

Geologia della zona.

Il Territorio di Sciacca è rappresentato, geologicamente, da litologie che vanno dal Trias sup. all'Olocene.

Dal rilevamento geologico eseguito, nonchè dallo studio geologico effettuato per il P.R.G. del comune di Sciacca, le unità geologiche interessate dallo studio in oggetto, si possono attribuire dall'alto verso il basso ai seguenti periodi:

- Sabbie e calcareniti "*Terrazzi marini*" - (Pleistocene medio superiore);
- Argille di colore grigio azzurro - (Pliocene medio - Pleistocene inferiore);

1. L'unità geologica sabbioso – calcarenitica (*Terrazzi marini*), risulta con spessori medi di circa 15.00 mt., a costituzione granulometrica medio grossolana, massiva e/o sottilmente stratificata a tessitura incrociata indistinta, con grado di cementazione ed addensamento variabile, rossastra in superficie, dove a volte si presenta lapidea e giallastra in profondità, caratterizza in zona il terrazzo marino;

2. L'unità geologica delle argille, risulta di elevata estensione areale e di potenza superiore ai 200 mt., di natura limosa e/o marnosa, omogenea, poco plastica alle volte dura e molto consistente, geologicamente stabile, a stratificazione indistinta, con grado di permeabilità nullo. La formazione delle argille, nelle aree rilevate forma il substrato della sedimentazione terrazzata di origine marina.

Lineamenti Tettonico-Strutturali

Le Unità Saccensi tettonicamente, risultano meno deformate rispetto all'intero territorio, infatti misure del paleomagnetismo in campioni prelevati nelle Unità Monte S. Calogero e R. Nadore indicano che esse hanno subito rotazioni trascurabili o nulle.

Nel Miocene inf. ebbe inizio una gran fase tettonica che portò l'Africa a collidere con l'Europa.

Nell'area Saccense, da Nord prima e poi progressivamente verso Sud, i depositi di piattaforma rigida subirono una compressione che determinò la rottura e l'accavallamento in scaglie con formazione di alti strutturali delimitati da faglie inverse, monte S. Calogero e graben laterali nei quali si andavano accumulando i materiali derivanti dall'erosione e dilavamento delle parti emerse.

In queste fosse si depositarono sedimenti tipo "Molassa", individuati lungo sondaggi effettuati a SW di monte S. Calogero, con spessore di 100 m.

Per tutto il periodo successivo, mentre probabilmente il sollevamento delle scaglie che costituisce il monte S. Calogero si accentuava e mentre nelle zone adiacenti si formavano stretti bacini entro i quali si depositavano i sedimenti evaporitici, nei restanti dintorni di Sciacca, la zona restò sollevata e non si ebbero deposizioni.

All'inizio del Pliocene si ebbe un improvviso sollevamento marino che sommerse tutta la zona, nelle zone più depresse si depositarono le marne bianche a Globigerine (Trubi).

Una nuova fase tettonica compressiva portò alla riemersione dell'Horst di monte S. Calogero mentre lateralmente andavano depositandosi materiali terrigeni in grossi accumuli spessi anche un centinaio di metri, in seguito si ebbe una fase tranquilla che si prolungò fino al Pleistocene inferiore.

Le strutture cartograficamente rilevabili a grande scala sono i sistemi di pieghe ed i fronti di sovrascorrimento: un primo sistema ad andamento E-W si è formato prima della sedimentazione dei trubi, ed è probabilmente di età tortoniana-messiniana; esso è osservabile molto bene tra i fronti dei thrust di Rocca Ficuzza e Rocca Nadore.

Qui è evidente che un sistema di pieghe E-W che coinvolgono tutti i

terreni fino a quelli serravalliani, non coinvolge i trubi, che si presentano solo blandamente piegati, ma in più giacciono in evidenza discordanza angolare (talora molto pronunciata) sul substrato eroso.

Il processo tettonico originatosi, ha pure sollevato, piegato ed accavallato i nuclei mesozoici dell'area di Sciacca verso Sud e Sud Ovest (il thrust-front di R. Ficuzza-R. Nadore).

Un secondo sistema di pieghe ad andamento NW-SE con associate faglie inverse si può datare al passaggio del Pliocene inf. - Pliocene sup. e costituisce il fronte, parzialmente sepolto di monte S. Calogero.

Secondo U. D'Angelo, G. Ruggieri, M. Unti & Vernucci (1980), il pliocene inf. dove esiste è rappresentato dai "Trubi" e considerando la loro distribuzione nel Pliocene inf. e la loro elevata profondità di sedimentazione, essi ammettono che a questa data la Sicilia doveva essere totalmente sommersa, secondo loro, verso la fine del Pliocene inf. il carattere della sedimentazione si è modificato bruscamente perchè o si passa dalla facies Trubi a sedimenti sabbiosi oppure nei Trubi stessi s'intercalano banchi di materiali franati all'interno del bacino di sedimentazione, infine, il ciclo sedimentario è chiuso da un'ulteriore crisi tettonica alla fine del Siciliano.

Nel Pliocene inf. la zona fu interessata da un movimento iniziale di abbassamento seguito da una stasi e dal sollevamento connesso con la crisi

medio-pliocenica.

In relazione a quest'ultima fase si sono sollevati i più meridionali degli Horst dei Sicani a anche il piccolo Horst di monte S. Calogero.

Nell'intervallo di tempo che abbraccia un periodo di 1,8 m.a.. circa si sono verificate due fasi tettoniche: quella dell'Emiliano e quella della fine del Siciliano, queste fasi tettoniche, hanno agito sulla zona con effetti veramente complessi.

Caratterizzazione idrogeologica.

Nell'ambito dell'area di studio, attraverso il rilevamento superficiale effettuato, è stato eseguito un rilievo idrogeologico di dettaglio; sulla scorta delle caratteristiche litologiche è stato possibile stimare le caratteristiche di permeabilità dei terreni affioranti in questa parte di territorio.

Dal punto di vista idrogeologico, i litotipi presenti nella zona interessata, presentano caratteristiche peculiari e contraddistinte in dipendenza della loro genesi ed evoluzione.

La permeabilità delle rocce è la proprietà, che molte di esse hanno, di lasciarsi attraversare dall'acqua penetrata nei loro pori e fessure.

Le considerazioni sui tipi litologici presenti, le osservazioni di campagna ed il reale comportamento delle rocce rispetto alle acque di precipitazione, hanno permesso di determinare la permeabilità o idrogeologia in cui viene

distinto il tipo e grado di permeabilità delle rocce affioranti nella zona esaminata.

Complesso Argilloso

Fanno parte di questo complesso terreni perlopiù argillosi a permeabilità scarsa o nulla, che bordano i rilievi calcarei e le terrazzate marine del territorio, formando anche il basamento di quest'ultimi.

La loro giacitura ed il loro contatto tettonico con le rocce calcaree e calcarenitiche permette la formazione di falde idriche sotterranee, ad elevate profondità.

In conclusione, i materiali che costituiscono il substrato del terreno di sedime della struttura scolastica, vengono considerati impermeabili, con grado di permeabilità che va da basso a Impermeabile relativo ad un coefficiente di permeabilità $\boldsymbol{K}$ compreso tra 10^{-7} e 10^{-10} cm/sec.

Permeabilità dei terreni.

k (cm/s)	10^{2}	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
k (m/s)	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
Classi di permeabilità	EE	Elevata	Buona	Discreta		Bassa			BB / Impermeabile			
Tipi di terreno	Ghiaie pulite		Sabbie grossolane pulite e miscele di sabbie e ghiaie		Sabbie fini	Miscele di sabbie e limi			Limi argillosi e argille limose, fanghi argillosi		Argille omogenee e compatte	

E' interessante anche valutare la quasi inefficacia delle acque di infiltrazioni ad opera delle acque meteoriche, che assumono il valori di classe "*impermeabile*", come riportato nella tabella successiva.

Valori orientativi di velocità di filtrazione verticale (i = 1)

k	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9} cm/s
Classi di permeabilità	> B	BUONA		DISCRETA		BASSA		> BASSA	IMPERMEABILE	
Spessore attraversabile in 1 anno	> 10 km		3 km	300 m	30 m	3 m	30 cm	3 cm	3 mm	
Tipo di terreno	GHIAIETTI	SABBIE SABBIE MISTE A GHIAIE		SABBIE MEDIE E FINI		LIMI SABBIE FINI ARGILLE LIMOSE			ARGILLE COMPATTE E OMOGENEE	

Su questa base i terreni affioranti rientrano essenzialmente nella classe dei terreni impermeabili.

Le argille plioceniche risultano quindi impermeabili.

Falde acquifere.

Le argille dell'area in studio, per la loro caratteristica di impermeabilità, non risultano sede di falde acquifere e pertanto di sfruttamento mediante pozzi.

Normativa Sismica.

La normativa sismica è dettata dal D.M. 17/01/2018 aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".

La normativa sismica contempla, per la definizione delle azioni sismiche di progetto, cinque categorie principali di terreno di fondazione, individuate dai valori della velocità media (VS).

La classificazione viene effettuata principalmente sulla base del valore di VS_{eq} valutato dalla seguente espressione

$$Vs,eq = \frac{H}{\sum_{strato=1}^{N} \frac{h(strato)}{Vs(strato)}}$$

Dove :

N : è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore h(strato) e dalla velocità delle onde S Vs(strato).

H : si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio (Vs-eq) è definita dal parametro Vs30, ottenuto ponendo H=30 mt. nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

A – Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B – Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra180 m/s e 360 m/s.
D – Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra100 e 180 m/s.
E – Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

La normativa, divide il territorio nazionale in quattro zone sismiche caratterizzate da differenti valori dell'accelerazione orizzontale.

ZONA	VALORE DI a_g
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

valori dell'accelerazione orizzontale

Microzonazione Sismica.

La valutazione del rischio sismico, viene effettuata mediante la macrozonazione sismica, definita come l'individuazione di aree che possano essere soggette, in un dato intervallo di tempo, ad un terremoto di una certa intensità.

All'interno di queste aree si possono valutare, con maggior dettaglio, le differenze di intensità massima dovute a differenti situazioni geologiche locali attraverso procedure il cui insieme costituisce la microzonazione sismica.

Infatti l'esame della distribuzione dei danni prodotti da un terremoto nello stesso territorio dimostra che le azioni sismiche possono assumere anche a distanze di poche decine di metri caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni locali (morfologia superficiale, morfologia del substrato roccioso

sepolto, presenza e profondità della falda freatica, costituzione e proprietà del sottosuolo, presenza di faglie).

Amplificazione Stratigrafica.

La realizzazione di opere e sistemi geotecnici realizzati su versanti, può essere influenzata da una amplificazione del fenomeno dovuto alla situazione topografica esistente, tale interferenza è corretta tramite l'utilizzo del coefficiente di amplificazione topografica ST riportato nella seguente tabella in base alle pendenze di versante.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15°$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15°$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15° \leq i \leq 30°$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30°$

Per il sito in oggetto, secondo la tabella sopra riportata si ottiene una Categoria topografica di Tipo **T1** pendii con inclinazione media i ≤15°.

Il fenomeno dell'amplificazione stratigrafica indotta da un sisma, è dovuta a fattori locali, geologici, morfologici e stratigrafici, sia superficiali che di substrato, che possono modificare il moto sismico di base; tali effetti diventano devastanti in presenza di strutture ed edificazioni.

Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima (amax) attesa in superficie ed ad una forma spettrale ancorata ad essa.

Il valore di amax può essere ricavato dalla relazione :

$$amax = Ss \times ag,$$

dove ag è l'accelerazione massima sul sito di riferimento rigido ed Ss è il coefficiente di amplificazione stratigrafica.

Pertanto, è opportuno valutare un coefficiente di amplificazione stratigrafica da inserire nei calcoli strutturali, per mitigare gli effetti prodotti da una irregolare accelerazione sismica nel sito di studio.

Caratterizzazione Sismica del sito.

L'area d'interesse ricade nel territorio di Sciacca, classificato dalla normativa sismica come Zona 2.

La caratterizzazione sismica del sito di studio, viene effettuata attraverso un'indagine sismica diretta effettuata in precedenza tramite idonea apparecchiatura.

Dall'indagine sismica si ricava un valore medio di Vs = 330 m/s, caratteristico di un suolo di categoria tipo "C"; i risultati dell'indagine sono riportati in allegato.

Riepilogo.

Classificazione attuale : Zona 2

Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari

al 10% in 50 anni AG/g : 0.15-0.25

Accelerazione orizzontale con di ancoraggio dello spettro di risposta

elastico (norme tecniche) AG/G: 0.25

Categoria suolo di tipo : "C" : Vs = 330 m/s

Amplificazione topografica : T1 superficie pianeggiante fino a 15°

Pericolosità Geologica dell'area.

Sulla scorta dei fattori acquisiti nella presente relazione, è possibile definire la pericolosità geologica dell'area.

Fattori geomorfologici :

- affioramento di litotipi argillosi caratterizzati da lievi pendenze ed a volta a giacitura sub-orizzontale;
- presenza di incisioni o impluvi naturali;
- lievi presenze di forme erosive, lungo le sponde fluviali;
- assenza di rischi di esondazione.

Fattori geologici :

- presenza di esteso affioramento di argille di medio alta consistenza.

Fattori idrogeologici :

- presenza di terreni a permeabilità bassa o nulla;

- assenza di falda acquifera.

La pericolosità geologica dell'area assume quindi rischi irrilevanti.

Aspetti Geotecnici:
Classificazione litotecnica.

Individuazione unità litologiche

L'unità geologica rilevata è stata correlata, secondo quanto prescritto dalla letteratura tecnica in materia.

Stabilito il litotipo, si è proceduto all'attribuzione della classe geotecnica di appartenenza, in base a tali valutazioni delle caratteristiche geomeccaniche ottenute in laboratorio ed a esperienze personali maturate sul campo.

Classi Geotecniche.

La prima classe considerata è quella dei ***"Terreni Sciolti (a)"***, il cui comportamento meccanico può essere schematizzato secondo i principi fondamentali della Meccanica delle Terre. Nell'ambito di tale classe si individuano due sottoclassi, quella dei ***"Terreni Incoerenti (a1)"*** e quella dei ***"Terreni Coesivi (a2)"***, in genere rappresentati da depositi alluvionali.

Nella seconda classe quella dei ***"Terreni Consistenti (b)"***, si collocano in genere i materiali argillosi argillo marnosi, marnosi ed i terreni granulari superficiali dotati di una debole cementazione.

Segue la classe degli ***"Ammassi Rocciosi (c)"*** nella quale vengono raggruppate le rocce dotate di elevata resistenza, che, tuttavia, sono generalmente interessate da sistemi di discontinuità, che ne influenzano il comportamento fisico-meccanico.

In ultimo la classe "***Ammassi disomogenei***" ***(d),*** in essa si collocano tutte le deposizioni caotiche costituite da vari materiali a varia natura e dimensione.

Argille *(b)*

Ai fini della caratterizzazione geotecnica, le argille sono state classificate nei termini indicati con la sigla (b), ricadenti nella categoria degli "terreni consistenti".

Trattasi di argille limose o marnose di colore grigio azzurro, in superficie presentano delle discontinuità centimetriche sabbiose ossidate o impregnate di limo biancastro tipo muffa o inclusi granelli di gesso secondario, con stratificazione indistinta, poco plastiche e consistente e/o plastico dure e molto consistente in profondità.

Affiorano ampiamente su tutto il territorio in esame dove a volte è ricoperta da un esiguo strato colluviale o vegetale.

Dall'interpretazione delle prove di laboratorio effettuate durante la fase di studio, l'analisi granulometrica la definisce come "Argille con limo", con le seguenti caratteristiche geomeccaniche:

Stratigrafia.

Dal saggio meccanico effettuato, si ricava la seguente stratigrafia:

Da 0.00 mt. a 0.60 mt. : Pavimentazione

Da 0.60 mt. a 3.00 mt. : Limi argillosi

Da 3.00 mt. a 7.40 mt. : Argille limose

Da 7.40 mt. a 20.00 mt. : Argille grigio-azzurro

Caratteristiche geotecniche.

Dalle prove di laboratorio si ricavano i seguenti valori:

Argille limose :

- **Peso unità di volume (Y) =1,87 t/m3;**
- **Peso dei grani (Ys) =2,69 t/m3;**
- **Angolo d'attrito ϕ'=17,77°;**
- **Coesione drenata C'=0,18 Kg/cmq;**
- **Coesione non drenata Cu=0,9 Kg/cmq;**

Argille grigio-azzurre :

- **Peso unità di volume (Y) =1,86 t/m3;**
- **Peso dei grani (Ys) =2,68 t/m3;**
- **Angolo d'attrito ϕ'=18,38°;**
- **Coesione drenata C'=0,23 Kg/cmq;**
- **Coesione non drenata Cu=1,13 Kg/cmq;**

Nell'analisi granulometrica, i campioni prelevati ricadono nel campo del Limo+Argilla con un valore superiore al 99 %.

Sicurezza del sito nei confronti della Liquefazione.

Dai fattori ricavati in considerazione della presenza in sottosuolo di materiali argillosi a giacitura che si può definire come sub-orizzontale e di elevato spessore, ai sensi del D.M. 17/01/2018 cap.7.11.3.4, sulla base dell'assetto litostratigrafico, si è proceduto alla verifica di massima della suscettibilità alla liquefazione dei terreni in campo sismico.

La liquefazione è un fenomeno che comporta la perdita di resistenza dei terreni saturi sotto sollecitazioni statiche e dinamiche, in conseguenza delle quali il terreno raggiunge una condizione di fluidità pari a quella di una massa viscosa.

Il fenomeno, si manifesta principalmente su terreni incoerenti saturi, che nel corso di un evento sismico subiscono una forte riduzione della resistenza al taglio, a seguito del quale il terreno può scorrere o fluire, nel caso di un pendio, o assestarsi, nel caso di una giacitura orizzontale.

Ciò avviene quando, sotto l'azione delle sollecitazioni cicliche indotte da un sisma, la pressione interstiziale dell'acqua aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento, cioè quando gli sforzi efficaci si riducono a zero.

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende dalle proprietà geotecniche, dallo stato di addensamento, dalla

composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso, nonché dalle caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata.

Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa), tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

Per quanto riguarda la storia delle sollecitazioni sismiche su un deposito si può affermare che precedenti deformazioni moderate influiscano positivamente sulla resistenza del deposito, mentre una storia caratterizzata da alti livelli di deformazione (deposito già soggetto a liquefazione) ha effetti negativi sul potenziale di liquefazione.

Esclusione della verifica a liquefazione.

Le NTC 2018, al § 7.11.3.4.2 - "Esclusione della verifica a liquefazione", individuano le condizioni per le quali è possibile omettere la verifica a liquefazione.

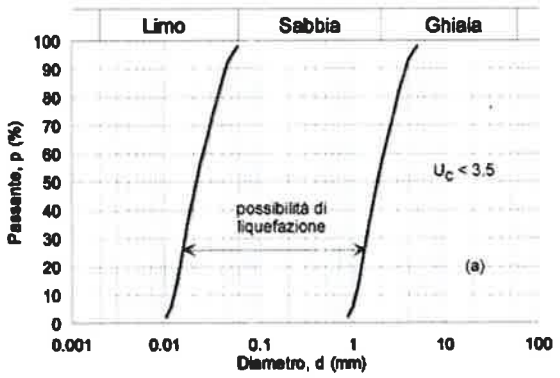
In particolare, la verifica a liquefazione può non effettuarsi quando si verifica una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;

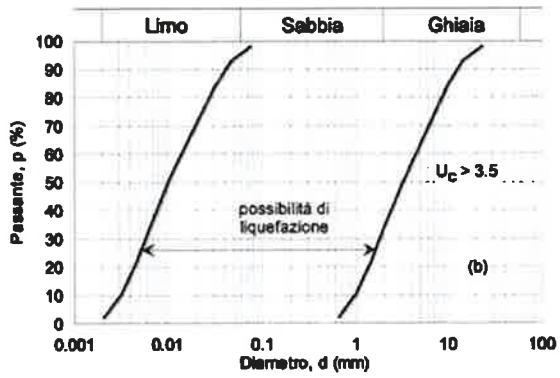
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano di campagna, per piano di campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60>30 oppure qc1N>180 dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella seguente figura nel caso (a) di terreni con coefficiente di uniformità Uc<3,5) e nel caso (b) di terreni con coefficiente di uniformità Uc>3,5).



a)



b)

Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione - Rif. Fig. 7.11.1 D.M. 17/01/2018

Metodi semplificati.

I metodi semplificati per la verifica del potenziale di liquefazione, si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto privilegiando metodologie correlative basate sul rapporto sulla resistenza alla liquefazione con i parametri desunti da prove in situ.

Il parametro maggiormente utilizzato è il numero dei colpi nella prova penetrometrica.

Metodo di Seed e Idriss (1982)

Seed e Idriss, per poter determinare gli sforzi di taglio indotti dal sisma propongono una semplice procedura basata sull'ipotesi di terreno omogeneo.

Ipotizzando la propagazione verticale di onde sismiche di taglio, una colonna di terreno di altezza **z** (*Fig.1*) si muove rigidamente in direzione orizzontale e pertanto lo sforzo di taglio massimo alla profondità z è dato da:

$$(1.1)\ \tau_{max} = \frac{a_g}{g} \times \gamma\, z$$

dove ag è l'accelerazione massima in superficie, g l'accelerazione di gravità e γ il peso di volume secco del terreno.

Poiché nella realtà il terreno è deformabile, lo sforzo di taglio è minore che nell'ipotesi di corpo rigido e quindi bisogna introdurre un coefficiente riduttivo $\mathbf{r_d}$.

Normalizzando con la pressione verticale effettiva e riferendosi ad un valore medio $\boldsymbol{\tau_{av}}$ anziché ad un valore massimo $\boldsymbol{\tau_{max}}$ si ottiene:

$$(1.2)\ \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = CSR_{7,5} = 0{,}65\,\frac{a_g}{g}\,\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}\,r_d$$

Espressione valida per sismi di magnitudo 7.5.

Per magnitudo diverse bisogna dividere per il fattore correttivo **MSF** (Magnitudo Scaling Factor):

$$(1.3)\,CSR = \frac{CSR_{7,5}}{MSF}$$

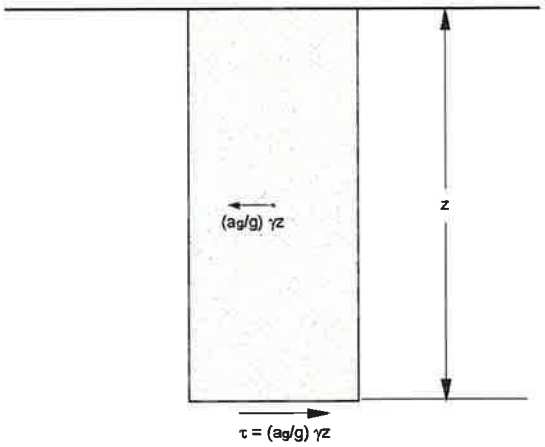


Figura 1 – Sforzo di taglio indotto dal terremoto ad una determinata quota

Il metodo di Seed e Idriss (1982) è il più noto e utilizzato dei metodi semplificati e richiede solo la conoscenza di pochi parametri geotecnici: la granulometria, il numero dei colpi nella prova SPT, la densità relativa, il peso di volume.

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo $\mathbf{r_d}$ viene utilizzata la formula empirica proposta da Iwasaki et al. (1978):

$$(1.4)\; r_d = 1 - 0{,}015z$$

Il termine a numeratore della (1.0), cioè la resistenza alla liquefazione CRR, viene calcolato in funzione della magnitudo, del numero di colpi, della

pressione verticale effettiva, della densità relativa.

Si ottiene un grafico (Fig. 2) ottenuto selezionando i casi di terreni in cui si è avuta liquefazione e non liquefazione durante i terremoti.

Si calcola inizialmente il numero dei colpi corretto alla quota desiderata per tenere conto della pressione litostatica mediante la seguente espressione:

$$(1.5)\ (N1,60) = C_N\ N_m$$

dove N_m è il numero medio dei colpi nella prova penetrometrica standard SPT e C_N un coefficiente correttivo che si calcola mediante la seguente espressione:

$$(1.6) C_N = \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,5}$$

dove σ'_{vo} è la pressione verticale effettiva, Pa la pressione atmosferica espressa nelle stesse unità di σ'_{vo} ed n un'esponente che dipende dalla densità relativa del terreno (Fig. 3).

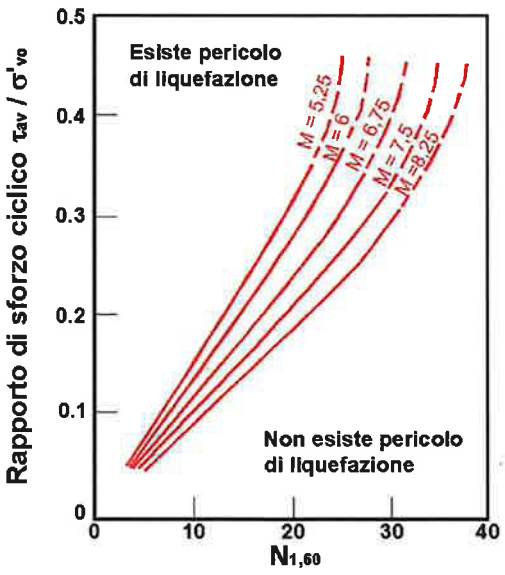


Figura 2 – Correlazione fra CSR e $N_{1,60}$

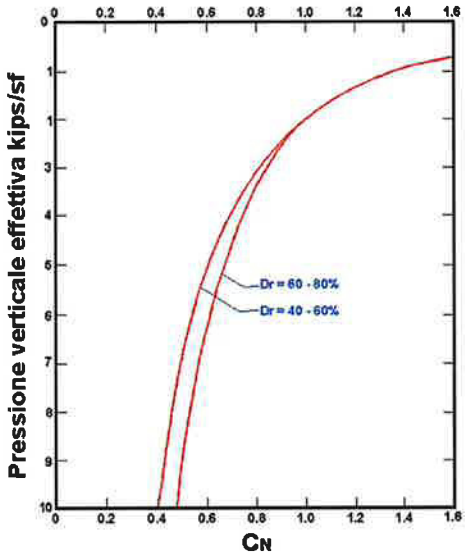


Figura 3 – Coefficiente correttivo C_N

E' stato dimostrato che per un terremoto di magnitudo pari a 7,5 CRR è:

$$(1.7)\quad CRR \approx \frac{N_{1,60}}{90}$$

si applica quindi la (1.0); se **FS > 1,3** il deposito non è liquefacibile.

I valori ricavati dal calcolo in allegato, risultano verificati con un valore di Fs > di 1,3 pertanto i terreni considerati non risultano soggetti a potenziali fenomenologie di liquefazione.

(Allegato 1).

Considerazioni conclusive.

L'edificio scolastico, allo stato attuale non presenta forme si dissesto strutturale, risulta ben edificato su suolo di natura argillosa di discrete caratteristiche geomeccaniche, ottenute dalle indagini effettuate, i cui risultati allegati alla presente relazione, devono essere utilizzati ai fini dei calcoli di verifica.

La struttura di fondazione dell'edificio in oggetto, realizzate con una tipologia di tipo superficiale, risultano idonee al caso studiato e ben si prestano sul manifestarsi dei possibili cedimenti strutturali, che allo stato attuale, appaiono trascurabili.

In riferimento al potenziale di liquefazione dei terreni, la probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende dalle proprietà geotecniche, dallo stato di addensamento, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso, nonché dalle caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata, pertanto, si può considerare che :

- l'edificio scolastico è stato realizzato su una litologia di natura argillosa di discrete qualità geomeccaniche, di buona struttura a giacitura che si può definire sub-orizzontale;

- il materiale argilloso costituente il substrato in studio, assume caratteristiche non drenanti e totale impermeabilità;
- la granulometria dell'ammasso argilloso presenta valori al di fuori dei fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione - Rif. Fig. 7.11.1 D.M. 17/01/2018;
- la struttura argillosa presenta un buon addensamento delle parti costituenti e basso indice dei pori;
- in base all'indice di permeabilità molto scarso o nullo si registra l'assenza di falde idriche in sottosuolo.

Le verifiche effettuate hanno indicato che lungo la verticale di sottosuolo di interesse, il fattore di sicurezza Fs rispetto alla potenziale liquefazione, è superiore al minimo di legge, ovvero per terreni con rischio di liquefazione da molto basso a nullo.

Gli esiti del calcolo indicano in conclusione che il rischio del fenomeno della liquefazione dei terreni in condizioni sismiche è trascurabile.

Pertanto, da quanto su esposto, considerando le condizioni litostratigrafiche ed idrogeologiche presenti, in caso di eventi sismici, si suppone che non siano probabili fenomeni di liquefazione dei terreni superficiali.

Agrigento li 18 NOV. 2024

Il Geologo
Dott. Franco Marzio Tuttolomondo

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

(da prove dinamiche SPT)

Metodo semplificato

Metodo di Seed e Idris (1982)

PARAMETRI:			
γ	=	1.87	g/cm^3
σ_{vo}	=	0.01	kg/cm^2
$\sigma_{vo'}$	=	0.01	kg/cm^2
profondità dello strato	=	7.4	m
N_{SPT}	=	15	
profondità falda	=		m
γ H_2O	=	1	g/cm^3
Pressione neutra	=	0.007	kg/cm^2
z	=	0.074	m

R=	Resistenza al taglio mobilitata
T=	Sforzo di taglio indotto dal sisma
d_{50}=	Diametro della curva granulometrica corrispondente al passante al 50%

FORMULE:				RISULTATI:	
Na	=	$(N_{SPT}*(1,7/(\sigma_{vo'}+0,7))+N_f)$	=	43.59658597	Na
N_f	=	7.5			
R	=	Na/90	=	0.484406511	R
T	=	$0,65*((a_{max}/g)*(\sigma_{vo}/\sigma_{vo'}))*r_d$	=	0.348893907	T
a_{max}/g	=	0.25			
r_d	=	0.99889			
1.3	≤	Fs=R/T Sabbie sature	=	1.388406337	Verificato Fs

Studio Geologico e Geotecnico Dott. Giuseppe Avenia

Allegato 1

COROGRAFIA

F.266 IV S.E. "Sciacca"

UBICAZIONE AREA DI STUDIO

da Scala 1:25.000



CARTA GEOLOGICA

Legenda

Depositi alluvionali

Terrazzi marini

Argille plioceniche

Calcari marnosi e calcareniti biancastre

Area in studio

